

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beban

Beban-beban yang mempengaruhi struktur bangunan adalah sebagai berikut :

- a. Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu
- b. Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, yang kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.
- c. Beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

- d. Beban gempa ialah semua beban statik ekivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, beban-beban yang dipakai dalam perhitungan adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa horizontal.

2.2. Redistribusi Momen

Dari hasil superposisi momen akibat beban gravitasi dan momen akibat beban lateral akan diperoleh momen tumpuan (negatif) yang bertambah besar dan momen lapang (positif) yang relatif jauh lebih kecil. Disamping itu, dapat pula terjadi perbedaan momen pada muka tumpuan balok di samping kanan dan kiri kolom interior.

Tidak berimbangnya momen lentur di daerah tumpuan dan lapangan seringkali menyebabkan tinggi balok tidak dimanfaatkan secara optimal untuk memperoleh kuat lentur yang diperlukan. Momen tumpuan yang terlalu besar dan adanya perbedaan momen tumpuan balok di samping kiri dan kanan kolom interior dapat mengakibatkan diperlukannya tulangan lentur pada balok secara berlebihan dari yang benar-benar dibutuhkan. Tulangan lentur balok yang berlebihan membawa konsekuensi pada pembesaran momen rencana kolom dan pondasi.

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut dapat digunakan teknik redistribusi momen dalam proses perencanaan dengan tujuan :

- Mengurangi besarnya momen maksimum tumpuan dan mengalihkannya ke lapangan, sehingga didapatkan distribusi kekuatan lentur yang lebih rata.

- Menyamakan momen akibat beban gempa bolak-balik yang bekerja pada balok menerus.
- Memanfaatkan secara penuh tulangan lentur positif di daerah tumpuan yang jumlahnya disyaratkan minimum 50% dari jumlah tulangan lentur negatif, sehingga perencanaan menjadi lebih ekonomis.
- Mengurangi besarnya momen yang akan didistribusikan ke kolom.

Pada dasarnya dalam melakukan redistribusi momen harus diusahakan agar :

- Prinsip keseimbangan statis selalu terpenuhi
- Kemampuan portal dalam menahan beban lateral tidak berubah.
- Tidak terjadi sendi plastis pada ujung-ujung kolom di atas lantai dasar.

2.3. Efek P-Delta

2.3.1. Uraian Umum

Pada keadaan batas ultimit, kebutuhan pokok dalam perencanaan adalah tercukupinya kekuatan dan ketahanan serta menjaga bangunan agar masih dalam keadaan stabil terhadap kemungkinan terburuk aksi beban yang mungkin terjadi selama umur bangunan termasuk selama pelaksanaan konstruksi. Hal tersebut membutuhkan analisis gaya dan tegangan pada elemen struktur sebagai hasil dari kemungkinan kombinasi beban paling kritis, termasuk pembesaran momen yang mungkin timbul dari tambahan defleksi orde kedua (efek P-delta).

Jika suatu analisis struktur memperhitungkan pengaruh P-delta, persamaan keseimbangan struktur menjadi *non linear*, dimana prinsip superposisi tidak berlaku lagi dan respon struktur sangat dipengaruhi oleh *loading history*. Solusi analisis *non*

linear ini sangatlah rumit dan biasanya diselesaikan secara numeris (dengan metode elemen hingga), dengan membagi menjadi puluhan angka (*step*) dan solusi setiap langkah memerlukan iterasi puluhan kali, dan sebelum meneruskan langkah berikutnya *stiffness matrix* struktur perlu disesuaikan dengan konfigurasi struktur yang sudah terdeformasi (Suhendro, 1989, Suhendro & Wen, 1991, dalam Suhendro 1994).

Pada bangunan tinggi dan sangat tinggi, efek P-delta mungkin akan menjadi hal penting sehingga harus diperhitungkan untuk menjamin bahwa keruntuhan bangunan yang diakibatkan olehnya tidak terjadi setelah bangunan leleh. Suatu bangunan tinggi bila dikenai sebagian besar gempa daktilitasnya dapat mencapai 4 sampai 6 (Clough, 1970, dalam Mashary, 1998), namun dalam peraturan direkomendasikan maksimum sebesar 4 saja. Menurut Hutchison, 1983, dalam Mashary, 1998, Nilai tersebut sudah dianggap cukup besar dengan syarat gerakan relatif antar lantai tak boleh lebih besar dari 2 cm (Budi Nugroho AS, 1999).

Struktur gedung yang tingginya diukur dari taraf penjepitan lateral adalah lebih dari 10 tingkat atau ≥ 40 m, harus diperhitungkan terhadap pengaruh P-delta, yaitu suatu gejala yang terjadi pada struktur gedung yang fleksibel, dimana simpangan ke samping yang besar akibat beban gempa lateral menimbulkan beban lateral tambahan akibat momen guling yang terjadi oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang ke samping (SNI 2002 pasal 5.7).

Analisis-*analisis* struktur yang lazim dipakai dalam praktek untuk menetapkan distribusi momen lentur, gaya lintang, maupun gaya normal yang terjadi didalam struktur akibat beban luar termasuk kategori “*first order analysis / linear*

analysis “, analisis ini belum memperhitungkan efek P-delta. Pada analisis tersebut, hubungan antara tegangan dan regangan bahan dianggap linear, dan pengaruh deformasi terhadap persamaan keseimbangan struktur ataupun pengaruh gaya aksial terhadap kekakuan batang / struktur diabaikan (Bambang Suhendro, 1994).

Apabila gaya aksial yang terjadi pada batang-batang cukup besar, seperti yang biasa dijumpai pada kolom-kolom portal bertingkat banyak, terlebih lagi bila portal tersebut tidak ditahan terhadap goyangan kesamping (*unbraced frame*) maka hasil distribusi gaya-gaya dalam yang diperoleh dari *first order analysis* tidak sesuai lagi. Menurut Wen dkk, (1983) agar hasil yang diperoleh menjadi lebih akurat, dapat dilakukan dengan cara persamaan keseimbangan struktur diformulasikan berdasarkan konfigurasi struktur yang sudah terdeformasi (*deformed configuration*), sehingga persamaan keseimbangan yang harus diselesaikan menjadi nonlinear, (Bambang Suhendro, 1994).

Dalam analisis struktur, pengaruh momen sekunder dikenal dengan istilah efek P-delta. Efek P-delta adalah pembesaran pengaruh gaya aksial (P) yang bekerja dalam kolom – kolom akibat membesarnya eksentrisitas gaya – gaya aksial tersebut karena adanya simpangan (δ) pada struktur (PPTGIUG P.3.2.2, 1983).

Karena persamaan keseimbangan struktur yang harus diselesaikan menjadi nonlinear, maka analisis ini dikenal dengan *nonlinear analysis*. Selanjutnya karena pengaruh momen sekunder diperhitungkan dalam formulasinya, maka analisis ini juga dikenal sebagai *second order analysis*.

Analisis nonlinear yang disebutkan diatas cukup rumit solusinya, dan prosedur maupun parameter yang terlibat dalam analisis tersebut cukup sulit

dipahami oleh para praktisi. Menurut Suhendro, 1989 ; Suhendro & Wen, 1991, biasanya solusi diperoleh secara numeris dengan membagi menjadi puluhan langkah. Sebelum meneruskan langkah berikutnya, struktur perlu disesuaikan dengan konfigurasi struktur yang sudah terdeformasi. Solusi pada setiap langkah memerlukan iterasi puluhan kali (Bambang Suhendro, 1994).

Untuk penelitian ini juga dilakukan tinjauan pustaka pada makalah seminar Bambang Suhendro (1994) yang mengambil pokok bahasan mengenai *Analisis Efek P-delta dan Aplikasinya pada Perencanaan Kolom Portal Bertingkat Banyak*. Peneliti melakukan analisis pada struktur beton untuk menjelaskan bahwa analisis struktur linear (*first order analysis*) yang biasa dipakai dalam praktek, menghasilkan gaya-gaya dalam yang *over estimate* baik pada kekakuan maupun kekuatan struktur yang ditinjau. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan konsep faktor pembesaran (*magnification factor*), untuk menggantikan analisis nonlinear yang dirasakan cukup rumit.

2.3.2. Fasilitas Analisa Efek P-delta dalam SAP 2000

Element Frame pada SAP 2000 telah memasukkan formulasi untuk menganalisa P-delta. Jika diaktifkan, program akan memperhitungkan pengaruh beban aksial yang besar terhadap perilaku momen lentur transversal. Gaya aksial tekan akan mengurangi kekakuan lentur, sedangkan gaya aksial tarik memperkaku. Meskipun termasuk analisa non-linier geometri, tetapi analisa P-delta dengan program SAP 2000 belum memperhitungkan efek lendutan yang besar. Jadi asumsinya bahwa geometri struktur sebelum dan sesudah dibebani dianggap masih sama (tidak ada perubahan geometri).

Asumsi dan keterbatasan analisa P-delta dalam program SAP 2000 adalah :

- Pengaruh P-delta hanya dianalisa pada element frame saja, meskipun element lain juga terdapat model yang ditinjau.
- Hanya pada tegangan aksial yng besar yang mengakibatkan bending transversal dan deformasi geser yang diperhitungkan.
- Deformasi pada struktur dianggap relatif sangat kecil.
- Lendutan transversal berbentuk kubik untuk lentur, dan linier untuk geser pada daerah *rigid zone offsets*.
- Gaya aksial P-delta dianggap konstan sepanjang element.

Option menghitung pengaruh P-delta pada program SAP 2000 melalui menu *Analyze – Set Options* sehingga tampil kotak dialog Analysis Options. Apabila P-delta diperhitungkan, momen dan gaya geser akan bertambah akibat terjadinya eksentrisitas tambahan dari struktur yang berdeformasi. Eksentrisitas beban pada geometri awal tidak ada dan timbul setelah analisis. Jadi, ada proses iterasi untuk menghitungnya. Pada proses iterasi yang dilakukan program SAP 2000 adalah terbatas sehingga tidak dapat digunakan untuk melacak struktur dengan deformasi besar.